

**Marcela HALÍŘOVÁ<sup>1</sup>**

**OPTIMALIZACE VÝBĚRU SKLADBY MATERIÁLŮ PRO NENOSNÉ STĚNY  
VE STAVEBNÍCH OBJEKTECH**

**OPTIMALIZATION SELECTION OF MATERIALS FOR STRUCTURE SEPARATING WALLS  
IN BUILDINGS**

**Abstrakt**

Na stavební konstrukce klademe mnoho závažných nároků, od stavebně technických, přes technologické, ekonomické, estetické až po celospolečenské. Tyto dnešní zpřísněné požadavky se promítají do norem a zákonů a platí pro všechny konstrukce, tedy i pro nenosné vnitřní příčky. Pro rychlý a zodpovědný výběr skladby příček se nabízí vícekritériální optimalizační metoda, jako účinný nástroj, již při návrhu a přípravě projektové dokumentace stavby.

**Klíčová slova**

Stavební konstrukce, příčky, optimalizační metoda.

**Abstract**

We subject engineering structures to many substantial requirements. The requirements on the construction elements and constructions are constructive technical, technological, economic, esthetical and all-societal. Today these enhanced requirements are translated into norms and laws and applies to all structures, even for non-bearing interior walls. It is for a quick and responsible choice of separating wall material offering the multicriteria optimization method as an effective tool, already in the design and preparation of project documentation for construction.

**Keywords**

Building structure, separating wall, optimization method.

**1 ÚVOD**

Pro optimalizaci výběru skladby nenosných stěn byly vybrány příčky z tradičních zdicích prvků dle [1] a roštové příčky za sádkokartonu dle [2]. Pro zvýraznění a podtržení charakteristických vlastností stavebních materiálů použitých na zhotovení těchto stěn, byly vybrány příčky jednoduché, příčky z jednoho převažujícího materiálu.

**2 VÝBĚR REÁLNÝCH MATERIÁLOVÝCH VARIANT**

Z množiny možných materiálových variant byly vybrány pouze reálné materiálové varianty. Byly vyloučeny materiálové varianty, které se v našich zeměpisných šířkách neužívají a byl omezen počet materiálových variant na jednotlivé reprezentativní zástupce s charakteristickými vlastnostmi tak, aby bylo zajištěno vyhodnocení, které odpovídá reálné skutečnosti.

---

<sup>1</sup> Ing. Marcela Halířová, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 359, e-mail: marcela.halirova@vsb.cz.

Tab. 1: Vybrané reálné materiálové varianty vnitřních nenosných stěn – příček.

Ozn.	Složení materiálové varianty
<b>A</b>	Příčka z cihel plných pálených: omítka, MV, tl.10mm / CP, 290x140x65 mm, tl.140mm / omítka, MV, tl. 10 mm Celková tloušťka příčky: 160 mm
<b>B</b>	Příčka z dutých pálených příčkovek Supertherm CD 6 DF: omítka, MV, tl.10 mm, / Supertherm CD 6 DF, 365x238x115mm, tl. 115 mm / omítka, MV, tl. 10 mm Celková tloušťka příčky: 135 mm
<b>C</b>	Příčka z vápenopískových cihel: omítka, MV, tl. 10 mm / vápenopísková cihla, 290x140x65, tl. 140 mm / omítka, MV, tl. 10 mm Celková tloušťka příčky: 160 mm
<b>D</b>	Příčka z tvárnic příčkových betonových TP 12-B: omítka, MV, tl. 10 mm / TP 12-B, 500x190x120 mm, tl. 120 mm / omítka, MV, tl. 10 mm Celková tloušťka příčky: 140 mm
<b>E</b>	Příčka z příčkovek Liapor M 115: omítka, MV, tl. 10 mm / Liapor M 115, 372x240x115 mm, tl. 115 mm / omítka, MV, tl. 10 mm Celková tloušťka příčky: 135 mm
<b>F</b>	Příčka z příčkovek Ytong: omítka, malta Ytong, tl. 2,5 mm / NAP 10, 2100x599x100 mm, tl. 100 mm / omítka, malta Ytong, tl. 2,5 mm Celková tloušťka příčky: 105 mm
<b>G</b>	Roštová sádrokartonová příčka bez vložené tepelné izolace: GKB, tl. 12,5 mm / vzduchová mezera, tl. 100 mm / GKB, tl. 12,5 mm Celková tloušťka příčky: 125 mm
<b>H</b>	Roštová sádrokartonová příčka s vloženou tepelnou izolací: GKB, tl. 12,5 mm / kamenná vlna Orsil, tl. 60 mm / vzduchová mezera, tl. 40 mm / GKB, tl. 12,5 mm Celková tloušťka příčky: 125 mm

### 3 VÝBĚR ROZHODUJÍCÍCH VLASTNOSTÍ – HODNOTÍCÍCH KRITÉRIÍ

Při rozhodovací analýze bylo důležité vymezení rozhodujících vlastností - dílčích cílů optimalizace.

Tab. 2: Vybraná hodnotící kritéria multikriteriální optimalizace.

č.	Kritérium	Rozměr
1	Plošná hmotnost	kg.m <sup>-2</sup>
2	Součinitel prostupu tepla U	W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>
3	Vážená laboratorní vzduchová neprůzvučnost R <sub>w</sub>	dB
4	Požární odolnost EI	min.
5	Cena za m <sup>2</sup> příčky	Kč.m <sup>-2</sup>
6	Pracnost	-
7	Podíl recyklace	%

### 4 SESTAVENÍ ROZHODOVACÍ MATICE

V optimalizační úloze multikriteriálního rozhodování má množina hodnotících materiálových variant konečný počet prvků, které charakterizují rozhodovací kritériální matici. V této matici sloupce odpovídají kritériím a řádky hodnocení variantám, viz vzorec (1).

Rozhodovací matice:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{vmatrix} \parallel \begin{vmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{vmatrix} \quad (1)$$

kde:  $f_1$  až  $f_m$  ... váhy kritérií, platí  $\sum_{i=1}^m f_i = 1$

$a_{ij}$  ... hodnota kritéria i varianty j (kde i=1 až m, j=1 až n)

Řešená rozhodovací matice obsahuje osm materiálových variant, které jsou označeny písmeny velké abecedy od A do H (viz.tab1), a sedm kritérií hodnocení, které jsou označeny číslicemi (viz tab. 2). Každé kritérium je označeno jako max. (maximalizační), nebo jako min. (minimalizační) podle toho, jaká hodnota je žádoucí a vhodnější.

Tab. 3: Rozhodovací matice

Číslo kritéria	Max/min.	Materiálové varianty							
		A	B	C	D	E	F	G	H
1	max.	290	173	245	208	149	84	24,7	25
2	min.	2,81	2,41	2,81	2,46	1,82	1,31	2,20	0,60
3	max.	47	48	49	45	46	34	39	47
4	max.	180	150	120	90	120	60	15	45
5	min.	894	944	670	472	537	728	545	653
6	max.	1,667	1,667	1,833	3,167	3,167	4,333	5,0	5,0
7	max.	10	10	20	40	60	80	90	85

Hodnoty byly převzaty z technických listů výrobců nebo získány výpočtem – podrobnosti viz archiv autorky

## 5 STANOVENÍ VÁHY KRITÉRIÍ METODOU KVANTITATIVNÍHO PÁROVÉHO SROVNÁNÍ KRITÉRIÍ

Stanovení váhy-závažnosti jednotlivých kritérií je nejdůležitějším a nejkritičtější krokem multikritériální optimalizace. Každá vlastnost, která je vyjádřena kritériem, má rozdílnou závažnost, je důležité také hledisko posuzování závažnosti určitého kritéria, pohled uživatele stavebního díla se může lišit od priorit zhotovitele stavby či výrobce stavebního materiálu. Většina metod vícekritériálního rozhodování vyžaduje přesné informace o relativní důležitosti jednotlivých kritérií, kterou můžeme vyjádřit pomocí vektoru vah kritérií.

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_k), \sum_{i=1}^k v_i = 1, v_i \geq 0 \quad (2)$$

Čím je důležitost kritéria větší, tím je větší i jeho váha. Za použití Saatiho matice vyjádříme preference jednotlivých kritérií, která jsou silně preferovaná, preferovaná nebo rovnocenná. Jednotlivé prvky Saatyho matice jsou pak definovány vzorcem (3). Váha kritérií je stanovena podle rovnice (4).

Zodpovědné určení závažnosti kritérií je významná tvůrčí fáze rozhodovacího procesu multikritériální optimalizace.

$$s_{ij} \approx \frac{f_i}{f_j}; s_{ii} = 1; s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}} \quad (3)$$

Odpovídající vhodná verbální stupnice:

- 1 – rovnocenná kritéria i a j;
  - 3 – slabě preferované kritérium i před j;
  - 5 – silně preferované kritérium i před j;
  - 7 – velmi silně preferované kritérium i před j;
  - 9 – absolutně preferované kritérium i před j;
- Hodnoty 2, 4, 6, 8 vyjadřují mezistupně.

$$f_i = \frac{\left( \prod_{j=1}^n s_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left( \prod_{j=1}^n s_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}} \quad (4)$$

kde:

-S = (s<sub>ij</sub>) ... matice párových srovnání Saatyho, kde i, j = 1, 2, 3, ...n  
 -f<sub>i</sub> ... celková váha kritérií

Tab. 4 Metoda kvantitativního párového srovnání kritérií

→j ↓i	2	3	4	5	6	9	1	S <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	Váha f <sub>i</sub>
2	1	1/3	1/3	1/5	1/5	1/3	3	0,00444	0,46	0,050
3	3	1	1/3	1/5	3	3	3	5,4	1,27	0,138
4	3	3	1	1/3	1	3	3	27	1,6	0,174
5	5	5	3	1	5	3	7	7875	3,6	0,393
6	5	1/3	1	1/5	1	1/3	3	0,333	0,85	0,093
9	3	1/3	1/3	1/3	3	1	5	1,666	1,07	0,117
11	1/3	1/3	1/3	1/7	1/3	1/5	1	0,00035	0,32	0,035
Σ									9,17	1

## 6 TRANSFORMACE ROZHODOVACÍ MATICE NA VÝPOČTOVOU MATICI MULTIKRITERIÁLNÍ OPTIMALIZACE

Transformací máme na mysli úprava hodnot kritérií jednotlivých vah do posloupností, vypracování pořadí variant a přepočtení získaných hodnot na bezrozměrná čísla. Toto záleží na typu hodnoty konkrétního kritéria.

O nákladovém typu hodnoty kritérií hovoříme tehdy, je-li požadavek stanoven minimální hodnotou. Setkáme se s ním např. u ekonomických nákladů, energetické náročnosti, pracnosti, množství emisí škodlivých látek, hmotnost měrné jednotky apod.

Transformaci provedeme následovně. Nejvyšší hodnota max. a<sub>ij</sub> odpovídá nejnižší hodnotě ocenění (většinou b<sub>ij</sub> = 0) a nejnižší hodnota min a<sub>ij</sub> odpovídá nejvyššímu ocenění (b<sub>ij</sub> = 1).

$$b_{ij} = \frac{(\max a_{ij}) - a_{ij}}{(\max a_{ij}) - (\min a_{ij})} \quad (5)$$

O ziskovém typu hodnoty kritérií hovoříme tehdy, je-li požadavek stanoven maximální hodnotou. Znamená to, že čím vyšších hodnot kritérium dosahuje, tím je i lépe hodnotíme.

Transformaci na bezrozměrnou veličinu provedeme následovně:

$$b_{ij} = \frac{(a_{ij}) - (\min a_{ij})}{(\max a_{ij}) - (\min a_{ij})} \quad (6)$$

Transformace rozhodovací matice na výpočtovou matici provedeme dle vzorce (7).

Výpočtová matice:

$$\begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mn} \end{vmatrix} \parallel \begin{vmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ f_m \end{vmatrix} \quad (7)$$

kde platí:

$$b_{ij} \cdot f_i = c_{ij}; \max \sum_{j=1}^n c_{ij} = H_i \Rightarrow \text{optimum} \quad (8)$$

kde: -  $b_{ij}$  je transformovaná hodnota podle vzorců (11) a (12)  
-  $i$  váha kritéria

Výsledkem transformace rozhodovací matice na matici výpočtovou bude pořadí výhodnosti hodnocených materiálových variant A až H a vyhodnocení optimální varianty, varianty s nejvyšším součtem součinů transformovaných hodnot kritérií a vah. Vzhledem k možnému výskytu subjektivních hodnocení bereme v úvahu hlavně výraznější rozdíly mezi součty, materiálové varianty s malým rozdílem součtů jsou považovány za více méně rovnocenné.

Tab. 5 Výpočtová matice

Číslo kritéria	Váha $f_i$	Materiálové varianty $c_{ij} = b_{ij} \cdot f_i \cdot 100$							
		A	B	C	D	E	F	G	H
2	0,050	5,00	2,80	4,15	3,45	2,34	1,12	0	0,11
3	0,138	0	2,50	0	2,19	6,18	9,34	3,81	13,8
4	0,174	15,08	16,24	17,40	12,76	13,92	0	5,80	15,08
5	0,393	39,30	32,15	25,01	17,86	25,01	10,72	0	7,15
6	0,093	0,99	0	5,40	9,30	8,02	4,26	7,86	5,73
9	0,117	0	0	0,58	5,26	5,26	9,36	11,70	11,70
11	0,035	0	0	0,44	1,31	2,19	3,06	3,50	3,28
$\Sigma$	1	60,37	53,69	52,98	52,13	62,92	37,86	32,67	56,85

## 7 VYHODNOCENÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Nejvyšší hodnotu součtu součinů transformovaných hodnot vah kritérií ve výpočtové matici má materiálová varianta E. To je příčka z příčkovek Liapor (podle tab. č. 1). Váhy jednotlivých kritérií jsou vyrovnané, a i když nedosahují jednotlivě nejvyššího hodnocení v součtu celkového hodnocení, vychází materiálová varianta E vítězně.

Druhého nejvyššího hodnocení dosáhla materiálová varianta A. To je příčka z cihel plných pálených (podle tab. 1). Ale při podrobnějším a důkladnějším rozboru hodnocení jednotlivých vlastností této příčky vidíme, že vysoké hodnocení získává tato materiálová varianta jen díky dobrým akustickým vlastnostem a především díky nejvyšším dosaženým hodnotám požární odolnosti EI, to znamená především díky vysoké váze tohoto kritéria. Ostatní vlastnosti jsou velmi nevyrovnané, spíše podprůměrné až nevyhovující. Pro značnou nevyrovnanost vah jednotlivých kritérií řadím tuto materiálovou variantu do poslední nejméně hodnocené skupiny.

Další nejvyšší hodnocení patří materiálové variantě H. To je příčce roštové sádrokartonové s vloženou tepelnou izolací (podle tab. 1). Vlastnosti této příčky jsou velmi vyrovnané a nadprůměrné. Zde vidíme, že příčka z kompozitních materiálů na bázi sádry s vloženou tepelnou izolací [2] obstála v konkurenci tradičních kusových staviv [1] více než dobře.

Do další skupiny s rovnocenným hodnocením patří materiálové varianty B, C a D. To jsou příčky z dutých pálených příčkovek Supertherm, z vápenopiskových cihel a z tvárnic příčkových betonových (podle tab. 1).

Do poslední, nejnižší hodnocené skupiny se zařadily materiálové varianty F a G. To jsou příčky z příčkovek Ytong a roštová sádrokartonová příčka bez vložené tepelné izolace.

## 8 ZÁVĚR

Vnitřní nenosné stěny – příčky jsou nedílnou a nezastupitelnou součástí konstrukcí v pozemním stavitelství. Zatímco užití tradičních materiálů prověřila staletí, sádrokartonové materiály se podařilo uvést do normových hodnotících procesů teprve ČSN EN 520 [2] v květnu 2005.

Všechny hodnocené kritéria byla vybrána jako nutné a zároveň nejčastěji požadované pro posouzení materiálových variant. Všechna tato kritéria ale nemají pro konkrétní reálné stěny všeobecnou platnost a nejsou požadována vždy současně. V praktickém použití u řešeného stavebního díla by docházelo zákonitě k situacím, kdy by některé kritérium nebylo pro konstrukci požadováno vůbec. A takovéto kritérium by zákonitě v hodnocení nebylo zastoupeno. Při návrhu konkrétních úloh ve stavební praxi bude nutné k těmto skutečnostem přihlídnout.

Závěry vyhodnocení optimální varianty metodikou vícekritériálního hodnocení lze použít již v počáteční fázi přípravy výstavby v rozhodovacím procesu výběru nejvhodnějších materiálových variant pro návrh vnitřních nenosných stěn.

Zvolená metoda vícekritériální optimalizace s metodou kvantitativního párového srovnávání kritérií je poměrně rychlým a seriózním hodnocením vlastností stavebních materiálů s vyloučením subjektivních vlivů hodnotitele a s jednoznačným postupem vyhodnocení materiálových variant.

Z tohoto důvodu mají výsledky hodnocení obecnou platnost.

## LITERATURA

- [1] ČSN ENV 1996-1-1 *Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby. Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 168 s.
- [2] ČSN EN 520 (72 3611) *Sádrokartonové desky – Definice, požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 44 s.
- [3] FIALA, P., JABLONSKÝ, J., MAŇAS, M. *Vícekritériální rozhodování*. Praha, VŠE Praha, 1996. 316 s. ISBN 80-7079-748-7

- [4] Firemní materiály, technické podklady, atesty: Heluz cihlářský průmysl v.o.s., KM Beta a.s., Lias VINTÍŘOV Lehký stavební materiál k. s., Betonové stavby Klatovy s.r.o., Xella pórobeton CZ s.r.o., Rigips s.r.o., Knauf a.s., ROKWOOL a.s.
- [5] HALÍŘOVÁ, M., SKULINOVÁ, D.: *Suchá výstavba*, Brno: ERA Group, spol. s r.o., 2007. 112 s. ISBN 80-7366-072-5.
- [6] PYTLÍK, P. *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. Brno, VUTIUM, 1998. 399 s. ISBN 80-214-1123-6.

**Oponentní posudek vypracoval:**

Doc. Ing. arch. Josef Šamánek, CSc., Fakulta stavební, VŠB TU Ostrava.

Ing. Vladislav Varmuža, KANIA, a.s., Ostrava.